

## マスク、露光方法、線幅測定方法、並びに半導体デバイスの製造方法

### 発明の背景

#### 発明の分野

本発明は、半導体素子、液晶表示素子、撮像素子（ＣＣＤなど）、または薄膜磁気ヘッド等の半導体デバイスを製造するためのマスク、露光方法および半導体デバイスの製造方法に関する。

#### 背景技術

半導体デバイスを製造するためのフォトリソグラフィ工程では、回路パターンを感光基板に焼き付け、その基板に対して現像やエッチングなどの各種プロセスを施す。回路パターンは、フォトマスクやレチクルといった原版上に形成されており、一般に、露光装置の光学系を介してその像が感光基板上のレジスト層に転写される。半導体デバイスの高集積度化が年々進む中、フォトリソグラフィ工程では、より高品質なデバイスを製造するために、プロセス条件や装置の特性に対する検査が行われている。

ところで、こうした検査において、処理基板上に実際に形成されたパターンの寸法（線幅等）を計測し、その結果から露光装置の光学特性やプロセス条件を確認する場合がある。パターンの寸法を計測するための技術としては、従来、光学顕微鏡を介してＩＴＶカメラでパターン像を観察する方式、レーザスポット光を用いて像のパターンエッジを求める方式、さらに、電子ビームによる２次電子強度を用いるいわゆるＳＥＭ方式といったものが多く採用されている。

ところが、上述した方式でパターン寸法を計測するには次のような問題があった。まず、ＩＴＶカメラを用いる方式とレーザスポット光を用いる方式では、光の回折現象があるため、例えば１本の線状パターン像の幅を単に検出するのみでは自ずと分解能に限界が生じる。特にレーザスポット方式ではスポットサイズが回折限界以下にならないため、スポットサイズ以下の線幅に対しては測定が不可能である。また、ＩＴＶカメラを用いる方式では、操作は簡便ではあるものの、パターン像を拡大観察するための顕微鏡の対物レンズの性能が直接分解能や測定

精度に影響してしまう。一方、SEM方式では、試料となるウエハを高真空室に入れてからレジスト像の計測を行うため、排気操作等の測定環境作りに時間がかかり、測定のスループットが低くなってしまう。

そこで本出願人は、米国特許4908656号（特開平2-31142号公報に対応する）において、ほぼ直線状の検査用パターン（マスクもしくはレチクル上で暗部または明部）を、所定の交差角度で交わるように感光基板に2重露光し、基板上に形成される例えばくさび状の像を利用してパターン寸法を計測する技術を提案している。この技術では、2重露光された像を形成することにより、1回の露光のみで形成された像を直接計測する場合に比べて、簡便で再現性がよく、しかも高精度にパターンの寸法を計測することが可能となる。また、この技術によれば、ITVカメラやレーザスポット光等を用いても、パターン寸法を高精度に計測することが可能となる。

しかしながら、この技術では、パターン寸法の計測に際して、検査パターンを有する検査専用のマスク（あるいはレチクル）を用いるため、半導体デバイスを実際に製造する際に、検査用のマスクから回路パターンを有する実デバイス製造用のマスクに、マスクを交換する必要がある。マスクの交換作業では、新たなマスクに対して表裏面上の異物を調べたり、そのマスクをマスクステージ上に正確に位置決めして搭載したりといった比較的時間を要する作業が多く、そのため、検査から実デバイスの露光に移行するまでに多くの時間を要してしまうという問題がある。

### 発明の要旨

本発明は、こうした事情に鑑みてなされたものであり、検査から実デバイスの露光に移行するまでの時間を短縮することができるマスク、露光方法、線幅測定方法並びに半導体デバイスの製造方法を提供することを目的とする。

上記課題を解決するために、本発明のマスクは、光学系を介して基板に転写される回路パターンを有するマスクであって、基板に転写されるパターンの線幅を計測するための検査用パターンを有する。

このマスクによれば、回路パターンと検査用パターンとの両パターンを有して

いるので、回路パターンを利用する工程と検査用パターンを利用する工程との両工程で同じマスクを用いることが可能となる。したがって、これらの工程間でのマスク交換に要する時間を省き、工程の移行に要する時間を短縮できる。

前記検査用パターンは、第1の計測用パターンと、該第1の計測用パターンの像と重ね合わされる第2の計測用パターンと、前記第1の計測用パターンと前記第2の計測用パターンとを重ね合わせた像から所定の像を抽出するための抽出用パターンとを有していてもよい。

この場合、複数のパターンを重ね合わせて感光基板に転写することにより、所定の像を抽出することが可能となるので、不要なパターン像が消去され、抽出した像を用いて確実に線幅を計測できる。しかも、直線状パターンの重ね合わせによって所定の像を形成することで、パターンの線幅が拡大して示されるので、簡便で、しかも確実に線幅を計測できる。

前記第1の計測用パターンおよび前記第2の計測用パターンは、互いに平行に並ぶ複数の直線状パターンからなり、前記抽出用パターンは、前記第1の計測用パターンと前記第2の計測用パターンとを所定の角度で交差させて重ね合わせた像から少なくとも1つの略菱形形状の像を抽出する形状に形成されていてもよい。

この場合、略菱形形状の像を抽出するので、他の重ね合わせた像の影響を受けることなく、正確に線幅を計測できる。

前記計測用パターンは、前記回路パターンが形成されている回路パターン領域とは別の領域に形成されていてもよい。この場合、回路パターンが形成されている領域とは別の領域に計測用パターンが形成されるので、柔軟に計測用パターンの形状や位置を設計できる。また、複数のマスクに対して共通の計測用パターンを形成することが容易になる。

前記計測用パターンは、前記回路パターンの一部であってもよい。この場合、計測用パターンが回路パターンの一部であるため、計測用パターン用のスペースを確保する必要がなく、効率よくマスク上にパターンを形成できる。

前記計測用パターンの線幅は、前記回路パターンの線幅に対応していてもよい。この場合、計測用パターンの線幅が回路パターンの線幅に対応するため、計測用パターンの線幅を計測することで、基板上に実際に形成される回路パターンの線

幅を容易に計測できる。さらに、重ね合わせた像を利用して計測用パターンの線幅を計測するようにすれば、微細な回路パターンの最小線幅でも確実に計測することが可能となる。

本発明における露光方法は、マスクに形成された検査用パターンを利用して基板に転写されるパターンの線幅を計測する計測工程と、マスクの回路パターンを光学系を介して基板に転写する露光工程とを有している。

この露光方法によれば、露光工程で用いるマスクを計測工程でもそのまま用いることが可能となる。したがって、計測工程と露光工程とでマスクの交換が不要となり、検査から実デバイスの露光に移行するまでの時間を短縮できる。しかも、計測工程と露光工程とで同じマスクを用いるので、両工程間での光学特性にマスクの固体差に起因する誤差が生じることがない。

前記計測工程で計測された前記パターンの線幅に基づいて、前記基板への露光条件を調節してもよい。この場合、計測したパターンの線幅に基づいて露光条件を調節するので、実デバイスへの露光精度を向上させることができる。

本発明の線幅測定方法は、所定の線幅で形成された第1の直線状パターンを所定面上に投影する第1工程と、前記第1の直線状パターンとは異なる線幅で形成された第2の直線状パターンを、前記所定面上に投影された前記第1の直線状パターンの像に所定の角度で交差させて投影する第2工程と、前記第1の直線状パターンと、前記第2の直線状パターンとの重なり部分の寸法を計測する第3工程とを有する。

この線幅測定方法によれば、2つの直線状パターンを所定の角度で重ね合わせることで、重なり部分に線幅が拡大されて示されるため、微細な線幅であっても確実に線幅を計測できる。

前記第1～第3工程は、光学系を介して感光基板に投影される回路パターンの最小線幅の測定に用いられ、前記第1の直線状パターン又は前記第2の直線状パターンの一方の線幅は、前記回路パターンの最小線幅と同程度であり、前記第1の直線状パターン又は前記第2の直線状パターンの他方の線幅は、前記一方の線幅より太くされていてもよい。

この場合、一方の直線状パターンの線幅を太くすることで、回路パターンの最

小線幅と同程度であるもう一方の直線状パターンの線幅が重ね合わせの部分にさらに拡大して示されるため、微細な回路パターンの最小線幅でも確実に計測できる。

本発明の他の形態のマスクは、光学系を介して、基板上に転写される回路パターンの線幅を測定する測定パターンが形成されたマスクであって、前記測定パターンは、所定の線幅で形成された第1の直線状パターンと、該第1の直線状パターンの像に重ね合わされ、前記第1の直線状パターンとは異なる線幅で形成された第2の直線状パターンとを有する。

このマスクによれば、線幅を測定する測定パターンとして、互いに重ね合わされしかも異なる線幅で形成される第1および第2の直線状パターンを有しているため、測定の際に重なり部分に線幅が拡大されて示され、微細な線幅であっても確実に線幅を計測できる。

前記第1の直線状パターンと前記第2の直線状パターンとが形成された領域とは異なる領域に、前記回路パターンが形成されていてもよい。この場合、第1および第2の直線状パターンが形成された領域とは異なる領域に回路パターンが形成されるので、同一のマスクに回路パターンと測定パターンとのそれぞれを容易に形成できる。

本発明の他の形態の露光方法は、請求項12のマスクの回路パターンを光学系を介して基板に転写する露光工程と、該露光工程に先立って、該露光工程で用いる前記マスクに形成された前記第1の直線状パターンと前記第2の直線状パターンとを利用し、前記基板に転写されるパターンの線幅を計測する計測工程とを有する。

この露光方法によれば、露光工程に先立って、マスクに形成された第1および第2の直線状パターンを利用して基板に転写されるパターンの線幅を計測するため、計測した線幅の結果に基づいて最適な露光条件を定めることが可能となり、露光精度の向上を容易に図ることができる。

本発明の他の形態の半導体デバイスの製造方法は、前記いずれかのマスクの回路パターンを光学系を介して基板に転写する露光方法と、該露光工程に先立って、該露光工程で用いる前記マスクに形成された前記第1直線状パターンと前記第2

直線状パターンとを利用し、前記基板に転写されるパターンの線幅を計測する計測工程とを有する。

この半導体デバイスの製造方法によれば、パターン線幅の計測に用いたマスクをそのまま実デバイスを製造する露光工程で用いるので、計測工程から露光工程へ短時間のうちに移行できる。しかも、線幅を計測した結果に基づいて露光条件を調節することで、実デバイスの精度を向上させることができる。

#### 図面の簡単な説明

FIG. 1A～FIG. 1Cは、本発明に係るマスクの第1の実施形態を示す平面図である。

FIG. 2は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置の構成例を示す図である。

FIG. 3は、本発明に係る露光方法の一例を示すフローチャートである。

FIG. 4は、FIG. 1A～FIG. 1Cのマスクを走査露光する様子を示す図である。

FIG. 5は、TTLアライメント系によるレジスト像の寸法計測の様子を示す図である。

FIG. 6は、線幅測定の様子を説明する図である。

FIG. 7は、線幅測定の様子を説明する図である。

FIG. 8A～FIG. 8Eは、実露光時のブレードの動作を説明する図である。

FIG. 9は、マーク領域ごとに本数が異なるパターンを示す平面図である。

FIG. 10AおよびFIG. 10Bは、線幅が互いに異なるパターンを示す平面図である。

FIG. 11AおよびFIG. 11Bは、投影光学系による非対称収差を説明する図である。

FIG. 12は、半導体デバイスの製造工程を示すフローチャートである。

FIG. 13AおよびFIG. 13Bは、ステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置の構成を示す図である。

FIG. 14AおよびFIG. 14Bは、本発明に係るマスクの第2の実施形態のパターン配列を示す平面図である。

FIG. 15AおよびFIG. 15Bは、本発明に係るマスクの第3の実施形態を示す平面図である。

FIG. 16A～FIG. 16Cは、2重露光によってステッピング誤差を測定する方法を説

明する図である。

FIG. 17AおよびFIG. 17Bは、本発明に係るマスクの第4の実施形態のパターン配列を示す平面図である。

FIG. 18AおよびFIG. 18Bは、本発明に係るマスクの第5の実施形態を示す平面図である。

FIG. 19AおよびFIG. 19Bは、本発明に係るマスクの第6の実施形態の抽出用パターンを示す平面図である。

### 望ましい実施態様

以下、本発明に係るマスクの実施形態について説明する。FIG. 1A～FIG. 1Cは、本発明に係るマスクの第1の実施形態を示しており、このマスクR（あるいはレチクル）には、実デバイスを製造するための回路パターンCPが回路パターン領域PAに形成され、回路パターン領域PAとは別の領域のマーク領域MAに検査用パターンKPが検査パターン領域PAに形成されている。回路パターンCPおよび検査用パターンKPは、例えばパターンジェネレータやEB露光装置といった装置により、設計データを基にしてマスクRの母材であるガラス板上に転写され、光透過部もしくは遮光部（クロム膜等）として形成される。本実施の形態では、回路パターン領域PA及びマーク領域MAを光透過部とし、この光透過部に回路パターンCPと検査用パターンKPを遮光部（クロム膜等）で形成するものとして説明する。なお、各領域PA、MAを遮光部とし、各パターンCP、KPを光透過部として形成してもよい。また、回路パターン領域PAを光透過部とし、この光透過部に回路パターンCPを遮光部として形成し、マーク領域MAを遮光部とし、この遮光部に検査用パターンKPを光透過部で形成してもよい。さらに、回路パターン領域PAを遮光部とし、この遮光部に回路パターンCPを光透過部として形成し、マーク領域MAを光透過部とし、この光透過部に検査用パターンKPを遮光部で形成してもよい。また、図中符号RM1、RM3、RM3は、位置合わせ（アライメント）用のアライメントマークであり、回路パターンCPおよび検査用パターンKPの配置位置は、これらアライメントマークRM1、RM3、RM3を基準に定められる。

本実施形態では、回路パターン領域PAの図中左辺外側の3ヶ所に、Y方向にピッチ $S_y$ で、マーク領域MA1、MA2、MA3が形成されている。なお、マーク領域は3ヶ所に限るものではなく、1ヶ所や2ヶ所あるいは4ヶ所以上でもよい。検査用パターンKPは、図中X軸に対して右上がりの直線状パターン群TP1と、X軸に対して左上がりの直線状パターン群TP2との一対からなる。また、これら直線状パターン群TP1、TP2は、予め定められた線幅のライン・アンド・スペース状（ピッチは必ずしも1：1である必要はない）に形成され、その長手方向（ほぼX方向）の長さは例えば数十 $\mu\text{m}$ ～100 $\mu\text{m}$ 程度である。なお、直線状パターン群TP1、TP2の各パターンの線幅は、回路パターン領域PAに形成されている実デバイスのパターンの最小線幅に対応させることが望ましい。また、本実施の形態では、マーク領域MA1、MA2、MA3には、それぞれ同じ直線状パターン群TP1、TP2が形成されているが、これに限るものではなく、後述するように、マーク領域MA1、MA2、MA3に形成される直線状パターンの本数、又は線幅、又はピッチの少なくとも一つを変えてもよい。例えば、マーク領域MA1の直線状パターン群TP1、TP2のパターンの本数をそれぞれ1本とし、そのパターンの線幅を回路パターン領域PAに形成されている孤立パターンの線幅に対応させ、マーク領域MA2、MA3の直線状パターン群TP1、TP2のパターンの線幅を回路パターン領域PAに比較的多く形成されているライン・アンド・スペースパターンのピッチに対応させてもよい。

FIG.1Bは、各マーク領域MA1、MA2、MA3（総じてマーク領域MAと称す）内の直線状パターン群TP1、TP2の詳細な形状を示す平面図であり、ここでは、直線状パターン群TP1、TP2が回路パターンCPに多く形成されているライン・アンド・スペースパターンに対応する。直線状パターン群TP1は、幅 $w$ 、長さ $H$ の3本の直線状の遮光パターン（計測用パターン）Ma、Mb、Mcを、X軸に対して角度 $\theta/2$ だけ右上がりに間隔 $w$ で互いに平行に配列したものであり、直線状パターン群TP2は、幅 $w$ 、長さ $H$ の3本の直線状の遮光パターン（計測用パターン）Na、Nb、Ncを、X軸に対して角度 $\theta/2$ だけ左上がり（右下がり）に間隔 $w$ で互いに平行に配列したものである。なお、2つの直線状パターン群TP1とTP2とでは計測用パターンの本数は揃えておいた方が



よい。また、直線状パターン群TP1、TP2の中心位置は、それぞれ計測用パターンMb、Nbの長手方向の中心点Q1、Q2であり、1つのマーク領域内において、X座標値が一致し、Y座標値にDyだけ差があるものとする。

次に、上述したマスクRを用いて行われる露光方法の実施例について説明するが、その前に本実施例に対して好適に用いられる露光装置について説明する。

FIG.2は、本実施例に適用される半導体デバイス製造用の縮小投影型露光装置の構成を示す図であり、この露光装置は、マスク（レチクル）RとウエハWとをそれぞれ所定の速度で同期して走査しながら、ウエハW上の1つのショット領域にパターン像をスキャン露光し、このスキャン動作をウエハWをステップ移動させて繰り返す、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式のものである。

露光用光源10からの露光光は、オプティカルインデグレータ等を有する光学系13で照度が均一化され、レンズ系14を介して、視野絞り機構15を通過する。露光光としては、例えば、KrFエキシマレーザ光やArFエキシマレーザ光、銅蒸気レーザやYAGレーザの高調波、あるいは超高圧水銀ランプの紫外域の輝線（g線、i線等）等が用いられる。視野絞り機構15は、駆動系16によって移動される可動ブレード17のエッジによって、開口APの形状を任意に規定するようになっており、開口APの形状は投影光学系PLの円形イメージフィールド内に包含されるよう本例では矩形に定められる。視野絞り機構15の開口APを通過した照明光は、レンズ系18、ミラー19、および主コンデンサレンズ20などからなる照明光学系を介してレチクルRに均一な照度分布で照射される。

レチクルRは、回路パターン領域PAを下にしてレチクルステージRSに保持されており、視野絞り機構15の可動ブレード17で規定された開口APの像が、パターン形成面であるレチクルR下面に矩形スリット状の照明領域として結像される。照明領域内のパターンは、投影光学系PLを介して投影倍率 $\beta$ （ $\beta$ は例えば1/5）で縮小され、ウエハW上の1つのショット領域内に結像投影される。

レチクルRは、レチクルステージRSに保持され、レチクルステージRSは、レチクルステージ駆動系21によってX方向に一次元走査移動し、さらにY方向、回転方向（ $\theta$ 方向）に微動するように、コラム22に支持されている。ここで、

投影光学系P Lの光軸に平行な方向をZ方向とし、光軸に垂直な平面内でレチクルRと照明領域との相対走査の方向（紙面に平行な方向）をX方向、これに直交する方向をY方向とする。レチクルステージR Sの2次元的な位置は、レーザ干渉式測長器（以下、干渉計と称す）2 3によって逐次検出される。

ウェハWは、X、Y方向に二次元移動するウェハステージS T上に搭載されている。ウェハステージS Tは、投影光学系P Lの光軸に垂直な面内でX方向およびY方向に一定量ずつウェハWをステップングさせ、ウェハW上のショット領域ごとにレチクルRのパターン像が転写されるように動作する。また、ウェハステージS Tは、干渉計2 7により、二次元的な座標値が逐次検出され、この座標値に基づいてウェハステージ制御回路2 8がX、Y駆動モータ2 9をサーボ制御する。なお、露光（スキャン露光）時のウェハステージS TのX方向の移動速度 $V_{st}$ は、レチクルステージR Sの速度 $V_{rs}$ の $\beta$ 倍（例えば1/5倍）である。

また、本実施例における露光装置には、ウェハW上のアライメントマーク、またはレジスト像（潜像）を検出するためのTTLアライメント系4 1が設けられている。このTTLアライメント系4 1（検出系）は、対物レンズ4 0を介して投影光学系P LにHe-Neレーザ光等の非感光波長のビームを入射させてウェハW上にスポット光（スリット状または微小な円形）を形成するとともに、ウェハW上のマーク（レジスト像）からの光情報を投影光学系P L、対物レンズ4 0を介して光電検出する。実際にレジスト像を検出する場合には、スポット光に対してウェハW（ウェハステージS T）が一方向にスキャンすることで、マークからの光電信号が、マーク波形となって信号処理回路4 2に入力される。信号処理回路4 2は、TTLアライメント系4 1からの光電信号波形のレベルを、干渉計2 7からの位置計測パルス信号に応答してアナログーデジタルサンプリングし、内部のメモリに格納する。信号処理回路4 2は、記憶された信号波形のプロファイルからマーク（またはレジスト像）の特徴的な部分（パターンエッジ等）の位置を求め、その位置情報を主制御系5 0へ出力するようになっている。

以下、本実施例による露光方法について詳しく説明する。

FIG. 3 のフローチャートは、本実施例の露光方法における手順を示しており、この露光方法は、回路パターンとともにレチクルに形成された検査用パターンを

利用してレジストが塗布されたウエハに転写されるパターンの線幅を計測する計測工程と、レチクルの回路パターンをウエハに転写する露光工程とからなっている。なお、本実施の形態では、露光装置として、走査型露光装置を示しているが、計測工程ではレチクルとウエハとを同期走査して、マーク領域の検査用パターン群をウエハ上に転写してもよいし、または、レチクルとウエハとを静止したまま、マーク領域MAの検査用パターン群をウエハ上に転写してもよい。

まず、計測工程を開始するにあたり、FIG. 2 のレチクルステージRSには、FIG. 1A に示したレチクルRがセットされる。レチクルRは、マーク領域MAが回路パターン領域PAに対してレチクルRの走査進行方向（ $-X$ 方向）側に位置するようにセットされ、不図示のレチクルアライメント系により、その位置が正確にアライメントされる。また、可動ブレード17を駆動し、可動ブレード17の開口APの大きさを、マーク領域MA1、MA2、MA3を含み、かつパターン領域PAを含まない大きさに変更する。さらに、マーク領域MA2の中心位置が投影光学系PLの光軸に一致するようにレチクルステージRSを駆動する。

計測工程では、まず、露光装置によって、レチクルR上のマーク領域MA1、MA2、MA3のパターン像をウエハW上のレジスト層に転写する（ファーストプリント：ステップ100）。ファーストプリントの露光量は、感光基板の感度に基づき、感光基板を十分に感光させるのに必要な露光量より少なく設定される（例えば必要露光量の $1/2$ の露光量）。

FIG. 4 の符号LGは、このときレチクルR上に照明される矩形スリット状の照明領域を示している。なお、本実施の形態では、レチクルR上に3つのマーク領域MA1、MA2、MA3を設けているので、露光領域内において、3ヶ所で線幅の計測を行うことができる。また、レチクルステージRSを駆動して、マーク領域MA1、MA2、MA3を $-X$ 方向又は $X$ 方向に $S_x$ 動かし、各マーク領域MAのパターンをウエハW上（領域Ar1、Ar2、Ar3）に投影すれば、合計9ヶ所の位置で線幅の計測を行うことができる。さらに、マーク領域MA1、MA2、MA3を $S_x$ と異なる距離を動かしたり、あるいは $Y$ 方向にレチクルステージRSを動かしたりする（例えば、マーク領域MA1とマーク領域MA2との間に、マーク領域MA1又はマーク領域MA2のいずれか一方が位置するよう

に動かす) ことによって、X方向やY方向の計測位置をさらに増やすこともできる。なお、露光領域内の3ヶ所以上で線幅測定を行う場合は、レチクルステージRSを駆動したときにも、常にマーク領域MA1、MA2、MA3が照明できるように、可動ブレード17の開口を制御する。また、本実施の形態では、マーク領域MAを3ヶ所に設けたが、1ヶ所のみ(例えばマーク領域MA2のみ)の構成であってもよい。その場合は、マーク領域MA2のみ照明できるように、可動ブレード17の開口を制御すればよい。

次に、1回目の露光を行ったマーク領域MA1、MA2、MA3の投影像に対して、同一のレチクルRを用いて2回目の露光を行う(セカンドプリント:ステップ101)。

この2回目の露光では、フォーカス条件を1回目と同一条件とする。また、セカンドプリントの露光量は、ファーストプリントの露光量との和が感光基板を十分に感光させるのに必要な露光量となるように設定される(例えば必要露光量の $1/2$ の露光量)。1回目に露光されたマーク領域MA1、MA2、MA3の投影像に対して、これから投影しようとするマーク領域MA1、MA2、MA3の各パターンをY方向に $\beta D_y$ ( $\beta$ は投影レンズの縮小倍率であり、例えば $1/4$ 、 $1/5$ など)だけ正確にずらしてウエハW上に転写する。これにより、ウエハW上の1つの露光領域内のレジスト層には、3ヶ所のマーク領域MA1、MA2、MA3のそれぞれにおいて、FIG. 1Cに示すように、直線状パターン群TP1と直線状パターン群TP2とを重ね合わせた像が形成される。

続いて、露光装置は、例えばTTL方式のアライメント系41を用いて、ウエハWに潜像として形成されたくさび状のパターンの寸法を自動計測する(ステップ102)。

本実施例では、くさび状パターンIR1、IR2、IR3は2重露光によって全く露光されなかった部分である。また、自動計測には、前述したTTL方式のアライメント系41と不図示のオフ・アクシス方式のウエハアライメント系との2つが使用可能である。以下TTL方式のアライメント系41(検出系)を用いて、くさび状パターンIR1のX方向の寸法 $L_a$ を計測する方法についてFIG. 5を参照して説明する。

くさび状パターン I R 1 は、FIG. 1A~FIG. 1C に示す複数本のライン・アンド・スペース状の直線状パターン群 T P 1、T P 2 の 2 重露光によって形成されるため、くさびの長手方向（X 方向）と直交する方向（Y 方向）に関しては、回折格子マークに近似した周期構造となっている。スリット状のスポット光 S P は Y 方向に伸びており、ウエハステージ S T が X 方向に移動することによって、スポット光 S P とくさび状パターン I R 1 とが相対的に走査して、T T L アライメント系 4 1 で受光可能な回折光（ $\pm 1$  次、 $\pm 2$  次光等）が発生する。FIG. 5（B）は、その回折光を受光する光電素子からの光電信号波形を表している。この信号波形を信号処理回路 4 2 に取り込み、適当なスライスレベルで 2 値化して X 方向の長さを求めることで、くさび状パターン I R 1 の寸法  $L_a$  を算出できる。なお、くさび状パターン I R 1 の Y 方向のピッチは一定であるが、X 方向については順次デューティ（凹凸の寸法比）が変化するため、X 方向のスポット走査中は回折効率が変化して、くさびの先端側では信号レベルが低下する。また、この FIG. 5 のように、Y 方向に多数のくさび状パターン I R 1 が形成されるように検査用パターン群を形成しておく、回折光による信号強度が増し、より確実にくさび状パターン I R 1 の寸法を計測することが可能となる。なお、ホトクロミック素子を感光基板として用いれば、くさび状パターンの潜像の寸法をさらに容易に計測することが可能である。

次に、主制御系 5 0 は、くさび状パターン I R 1 の X 方向の寸法  $L_a$  から、実際にウエハ W 上のレジスト層に露光された計測用パターンの線幅を算出する（ステップ 1 0 3）。

以下、FIG. 6 および FIG. 7 を参照してこの線幅の算出方法について説明する。なお、線幅を求める原理については米国特許 4 9 0 8 6 5 6 号に記載されているので詳細の説明は省略する。FIG. 6 は、レチクル R 上の線幅  $w$  の直線状の計測用パターン M a の投影像 M a 1 と計測用パターン N a の投影像 N a 1 とが重なった一部分を示しており、レジスト層に形成されるべき理想的な線幅を  $w_1$  とする。また、2 本の像 M a 1、N a 1 が交わる角度は  $\theta$  であり、理想的な線幅  $w_1$  に対してともに  $2 \Delta w$  だけ線幅変化したレジスト像（潜像）が形成されたものとする。

理想的な線幅  $w_1$  のパターンが交差した場合には、2 本の投影像 M a 1、N a

1の内側のエッジは交点V1で交わり、それに対して、線幅が $w_1$ から $w_1 + 2\Delta w$ に変化したパターンが交差した場合には、幾何学的な交点がV1からV2へ距離 $C_t$ だけ移動する。距離 $C_t$ と交差角度 $\theta$ との関係は、FIG. 7に示すように、線幅変化量 $\Delta w$ を変数とした次の(2)式で表される。

$$C_t = \Delta w / \sin(\theta/2) \quad (2)$$

ところが実際にパターンが潜像となった場合には、幾何学的な交点V1、V2の部分(くさび先端部)は変化するため、くさび状のレジスト像の先端U1、U2はそれぞれ交点V1、V2から距離 $D_u$ だけずれた位置に形成される。このとき、先端U1、U2の距離 $C_u$ は一定の範囲内では $C_u = C_t$ が正確に再現される。FIG. 1Cに示したくさび状パターンIR1の場合は、X方向に左右対称形(菱形)であるため、線幅変化が起これと、両側の頂角として形成されるくさび先端部は互いに逆方向に移動することになる。

そこで理想的な線幅 $w_1$ でレジスト像(潜像)が形成されている場合のくさび状パターンIR1のX方向の寸法 $L_a$ を $a$ 、線幅変化量を $\Delta w$ とすると、この線幅変化によるパターンIR1の寸法変化量 $\Delta a$ は、(2)式をもとに、次の(3)式で表される。

$$\Delta a = 2C_u = 2C_t = -2\Delta w / \sin(\theta/2) \quad (3)$$

ここで正負の符号は、寸法 $a$ が本来の値よりも短い( $\Delta a$ が負)場合に、線幅変化量 $2\Delta w$ だけ線幅の絶対値が太くなることを表す。またこの(3)式は次の(4)式のように変形できる。

$$2\Delta w = -\Delta a \cdot \sin(\theta/2) \quad (4)$$

このことから、直線状のレジスト像のパターン線幅を $w_0$ とし、そのときのくさび状パターンIR1の長さ寸法 $L_a$ が $a_0$ であることを予め基準データとして記憶しておけば、形成されたくさび状パターンIR1の寸法 $a_1$ を実測し、次の(5)式に代入することで、その計測用パターンのレジスト像の線幅 $w_1$ を求めることができる。

$$\begin{aligned} w_1 &= w_0 + 2\Delta w \\ &= w_0 - (a_1 - a_0) \cdot \sin(\theta/2) \end{aligned} \quad (5)$$

ここで線幅 $w_0$ に対する寸法 $a_0$ を求めておくことは、FIG. 6で示した幾何学的

な交点V1 (V2) と実際のくさび先端U1 (U2) との距離 $D_u$ を求めることに相当する。この距離Dは、2重露光する際の露光量、投影光学系PLとウエハWとの焦点ずれ等の要因によって多少変化し得るが、本例では1回目の露光と2回目の露光とで露光条件（露光量、フォーカス条件）を同一にしているので、同じ厚さのレジスト層に対してはほぼ一定値になる。なお、本例では1回目（露光量A）と2回目（露光量B）とを同一の露光量にしているがこれに限るものではなく、1回目と2回目の合計の露光量が前記感度によって設定される露光量（露光量A+露光量B）になればよい。

このように、露光装置に設けられたアライメント系を用いてくさび状パターンIR1（またはIR2、IR3）の寸法を自動計測することで、実際にウエハW上のレジスト層に露光された計測用パターンの線幅を算出することが可能となる。特に、角度 $\theta$ で交差する2本の計測用パターン（暗部または明部）が完全に重なってできる菱形状のくさび状パターンIR1の長さ寸法 $L_a$ においては、重ね合わせ露光時の位置ずれの影響が除かれ、その長さ寸法 $L_a$ を変化させる要因は線幅変化のみとなる。

続いて、主制御系50は、上述した計測結果から最適な露光条件を求める（ステップ104）。

すなわち、主制御系50は、2本の計測用パターンを角度 $\theta$ で交差させたときにできる菱形状のくさび状パターンIR1の長さ寸法 $L_a$ の設計データと、ウエハW上のレジスト層に形成されたくさび状パターンIR1との長さ寸法 $L_a$ の計測値とを比較し、その比較結果に基づいて最適な露光条件（露光量およびフォーカス位置）を算出する。最適な露光量を算出する方法としては、くさび状パターンIR1の長さ寸法 $L_a$ （または計測用パターンの線幅 $w_1$ ）に対する最適な露光量を予め実験で求めておき、このデータと実際の長さ寸法 $L_a$ （または線幅 $w_1$ ）を比較する方法が採用される。また、他の方法として、直線状パターンの重ねあわせを露光量を変化させながら実行し、露光量ごとに形成されたくさび状パターンの長さ寸法 $L_a$ （または線幅 $w_1$ ）から最適な露光量を求めてもよい。一方、最適なフォーカス位置を算出する方法としては、露光量を一定（例えば前述方法により求めた最適露光量）にしておき、ウエハW上に設定される各ショット

領域ごとにフォーカス位置を所定量ずつ変えながら、直線状パターンの重ね合わせを実行する。そして、各フォーカス位置ごとに形成されるくさび状パターンの長さ寸法 $L_a$ （または線幅 $w_1$ ）から最適なフォーカス位置を求めることができる。なお、以上のような計測工程を、自動的に実行できるようにしておくことで、露光装置を無人でセットアップ（オートセットアップ）することが可能となる。

次の露光工程を開始するにあたり、主制御系50では、レチクルステージRSの走査範囲や視野絞り機構15などの設定を露光工程用に切り換える。レチクルRは計測工程と同一のものが続けて使用され、レチクルアライメント系25によって走査開始位置に正確にアライメントされる。これにより、オートセットアップの完了後、計測工程から速やかに露光工程へ移行する。

露光工程では、実デバイス製造用のウエハWがウエハステージST上に搭載される。露光装置は実露光動作（ステップ・アンド・スキャン露光）を開始し、レチクルR上の回路パターン領域PAの投影像をウエハW上のレジスト層に転写する（ステップ105）。

実露光動作時、本実施例では、FIG. 1Aに示すレチクルR上の回路パターン領域PAのみを照明するように視野絞り機構15の可動ブレード17が制御される。以下にその動きを説明する。

FIG. 8A～FIG. 8Eは、実露光動作時の可動ブレード17の動作を示しており、わかりやすく説明するために、ここでは、レチクルRの真上に可動ブレード17を図示している。

まず、FIG. 2の主制御系50は、レチクルステージ駆動系21を介して、レチクルRをX方向の走査開始点に設定し、さらに、ウエハステージ制御回路28を介して、ウエハW上の1つのショット領域を走査開始点に設定する。また、主制御系50は、駆動系16を介して可動ブレード17を駆動し、FIG. 8Aに示すように、開口APのX方向の中心を光軸AXに対して $\Delta X_s$ だけレチクルRの走査進行方向と逆方向（FIG. 8A中の右方向）にずらす。この距離 $\Delta X_s$ は、開口APの最大幅 $D_{max}$ の約半分に設定され、また、開口APの幅Dは、ほぼ零に設定される。なお、レチクルRの走査開始点は、露光工程では、光軸AXがマーク領域MAと回路パターン領域PAとの間に位置するように設定され、計測工程では、



光軸AXがマーク領域MAの走査進行方向（-X方向）側に位置するように、露光工程の走査開始点からX座標を $Dsc$ だけオフセットして設定される。

次に、主制御系50は、レチクルステージRSとウェハステージSTとを投影倍率に比例した速度比で互いに逆方向に移動させる。このとき、FIG. 8Bに示すように、可動ブレード17のうちレチクルRの走査進行方向のブレードBL1のエッジE1の像がマーク領域MAと回路パターン領域PAとの間に常に位置するように、ブレードBL1をレチクルRに同期して移動させる。そして、レチクルRの走査が進み、FIG. 8Cに示すように、ブレードBL1のエッジE1が開口APの最大幅 $Dmax$ を規定する位置に達すると、ブレードBL1を停止させる。以後、レチクルRは、最大幅 $Dmax$ の開口APを通った照明光によって照明・走査される。なお、FIG. 2に示す視野絞り機構15の駆動系16内には、各ブレードの移動量と移動速度とをモニターするエンコーダ、タコジェネレータ等が設けられており、これらの位置情報と速度情報とに基づいて可動ブレード17の動きがレチクルステージRSの走査動作に同調するようになっている。

さらにレチクルRの走査が進み、FIG. 8Dに示すように、可動ブレード17のうちレチクルRの進行方向と逆方向にあるブレードBL2のエッジE2の像がレチクルRの回路パターン領域PAを外れると、主制御系50は、FIG. 8Eに示すように、ブレードBL2をレチクルRと同期して移動させる。そして、ブレードBL1のエッジE1が回路パターン領域PAを外れると、主制御系50は、レチクルステージRSと視野絞り機構15とを停止させる。

これにより、ウェハW上のショット領域内には、回路パターンCPのみが転写される。そして、各ショット領域に対して繰り返し上述したスキャン露光が実行される。1枚のウェハWのすべてのショット領域に回路パターンCPが転写されると、露光装置は、ウェハWを次の工程が行われる現像部へ送るとともに、新たな実デバイス製造用のウェハWを受け取り、このウェハWに対して次のスキャン露光を開始する。以後、露光装置は、露光工程における一連の実露光動作を繰り返し実行する。

以上説明したように、本実施形態のレチクル（マスク）によれば、光学特性を検査するために用いたレチクルをそのまま実デバイスを製造する露光工程で用い

るので、計測工程から露光工程へ短時間のうちに速やかに移行できる。

また、本実施形態のレチクルでは、検査用パターンK P（計測用パターン）の線幅と回路パターンC Pの線幅とを対応させて同じにしておけば、実露光動作時にウエハW上に実際に形成される回路パターン（実回路パターン）C Pの線幅を計測工程において容易に計測できる。また、本例では、露光工程でのウエハWへの回路パターンC Pの転写に際し、計測工程で計測したパターンの線幅に基づいて露光条件を調節するので、露光精度を確実に向上させることができる。しかも、計測工程と露光工程とで同じレチクルを用いるので、両工程間での光学特性にレチクルの固体差に起因する誤差が生じることがない。

また、前述したように、FIG. 1A～FIG. 1C に示す各マーク領域MA 1、MA 2、MA 3の直線状パターン群T P 1、T P 2のパターンの本数や線幅は任意である。そのため、FIG. 9 に示すように、マーク領域MAごとにパターンの本数を変えて直線状パターン群（ライン・アンド・スペースパターン）を形成しておけば、ライン・アンド・スペースパターンの形態による回折現象の違いをマーク領域MAごとの線幅の変化から捉えることが可能となり、回路パターンC P（ライン・アンド・スペースパターン）の種類に応じた最適な露光条件を定めることが可能となる。

さらに、FIG. 10A および FIG. 10B に示すように、重ね合わされる2つの直線状パターン群T P 1、T P 2（検査用パターンK P）を互いに異なる線幅に形成すれば、細いパターンの線幅でもさらに確実に計測できるという利点が生じる。すなわち、実回路パターンの線幅（例えば、実回路パターンの最小線幅）に対応する第1の直線状パターン群T P 1の線幅 $W_t$ に比べて太い線幅 $W_f$ で第2の直線状パターン群T P 2を形成することで、同じ線幅 $W_t$ で第2の直線状パターン群T P 2を形成した場合に比べて、FIG. 10B に示すように、重ね合わせた際のくさび状パターンI R 1の長さ $L_a$ を長くできる。前述した線幅の算出方法によれば、理想的な線幅でレジスト像（潜像）が形成されたときのくさび状パターンI R 1のX方向の寸法 $L_a$ さえ予め求めておけば、異なる線幅を重ね合わせた場合でも各々の線幅を算出することは可能である。したがって、一方のパターンの線幅を太くすることで、もう一方のパターンの線幅を拡大して示すことができるように

なり、例えば実回路パターンの最小線幅と同程度の線幅で第1の直線状パターンを形成すれば、微細な実回路パターンの最小線幅でも確実に計測することが可能となる。

また、FIG. 11A および FIG. 11B は、異なるマーク領域MAで形成されたくさび状パターンIR1（例えば FIG. 11A がマーク領域MA1、FIG. 11B がマーク領域MA2）を模式的に示しており、これらは、同一の露光量でしかもベストフォーカスで露光されて形成されたものである。本例のレチクルRでは、マーク領域MAがY方向にのみ所定ピッチで離れて形成されているため、投影光学系PLにY方向の非対称収差が存在すると、同一の露光条件（露光量とフォーカス位置）であっても、実際に形成される計測用パターンのY方向の幅が変化して、FIG. 11A と FIG. 11B とで計測用パターンの線幅wが互いに異なるようになる。そこで、最適露光条件下での各マーク領域MAの線幅wの差を求めれば、Y方向の非対称収差を求めることが可能となる。なお、この線幅wの差は、くさび状パターンIR1の寸法Laの差に拡大して示される。

また、FIG. 12 のフローチャートは、半導体デバイスの製造工程の一例を示している。半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ201、この設計ステップに基づいたマスク（レチクル）を製作するステップ202、シリコン材料からウエハを製造するステップ203、上述した実施例によりマスクのパターンをウエハに露光するウエハ処理ステップ204、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）205、検査ステップ206等を経て製造される。

こうした半導体デバイスの製造工程にあっては、レチクルの表裏面上の異物を調べるなど、一般にレチクルの交換に多くの時間を要してしまうが、本実施例のように、計測工程と露光工程とで同じレチクルを用いることで、レチクルの交換回数を低減することが可能である。また、本実施例で示した露光工程は、半導体デバイスの製造工程において少なくとも1回、実際には多数回繰り返して実行される。したがって、上述したように計測工程から露光工程へ移行する時間を短くしたり、レチクルの交換回数を低減することで、半導体デバイスの製造工程全体の作業効率を高めることが可能である。

また、本実施例では、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置を用いているため、回路パターン領域PAとは異なる領域（マーク領域MA）に検査用パターンKPが形成されていても、スキャン動作をオフセットさせるだけで、容易に検査用パターンKPを照明できるという利点がある。しかしながら、本実施形態のレチクルは、レチクルとウエハとを静止した状態でレチクルのパターンを露光し、ウエハを順次ステップ移動させる、いわゆるステップ・アンド・リピート方式の露光装置においても適用可能である。すなわち、FIG. 13A および FIG. 13B に示すように、マーク領域MAを任意の位置に移動できるようにレチクルステージRSを構成することで、ステップ・アンド・リピート方式の露光装置でも検査用パターンKPを容易に照明できるようになる。

次に、本発明に係るマスクの第2の実施形態について説明する。

第2の実施形態のマスク（レチクル）は、マーク領域MA内に形成される検査用パターンKPとして、第1の実施形態で示したX方向に伸びる直線状パターン群TP1、TP2に加えて、FIG. 14A に示すように、ほぼY方向に伸びる直線状パターン群TP3、TP4を有している。直線状パターン群TP3、TP4の幅および長さは、第1の実施形態で説明した直線状パターン群TP1、TP2のそれと全く同じであり、中心Q3、Q4がX方向にDxだけシフトされ、さらに、各中心点Q3、Q4を中心に直線状の遮光パターン（計測用パターン）がそれぞれ90°回転された状態に形成されている。なお、直線状パターン群TP3、TP4は、直線状パターン群TP1、TP2の必ずしも真横（すなわち、直線状パターン群TP1の中心点Q1と直線状パターン群TP3の中心点Q3とのY座標値が一致する状態）である必要はないが、互いの中心点Q3、Q4のY座標値は、直線状パターン群TP1、TP2と同じDyだけ差があるものとする。

この第2の実施形態では、第1の実施形態と同様に、1回目に露光された潜像に対して、これから投影しようとするパターンの投影像をY方向にβDyだけ正確にずらしてウエハW上に転写する。これにより、FIG. 14B に示すように、直線状パターン群TP1、TP3と直線状パターン群TP2、TP4とが重ね合わされて露光され、その潜像としてX方向に伸びるくさび状パターンIR1、IR2、IR3と、Y方向に伸びるくさび状パターンIR4、IR5、IR6がウエハ上

に形成される。したがって、例えば前述した FIG. 13A および FIG. 13B のステップ・アンド・リピート方式の露光装置において、マーク領域MAの位置をX方向にずらした位置でそれぞれ2重露光を行い、潜像として形成されるくさび状パターンIR1～IR6の寸法をそれぞれの位置で計測することで、第1の実施形態で説明したY方向の非対称収差に加え、X方向の非対称収差を計測することが可能となる。なお、本実施形態のレチクルRと同じ効果を得る方法として、第1の実施形態で示したレチクルRによってX方向に伸びるくさび状パターンを形成した後、レチクルRを90°回転させ、その状態で直線状パターン群TP1、TP2を2重露光することで、Y方向に伸びるくさび状パターンを形成するようにしてもよい。

FIG. 15A および FIG. 15B は、本発明に係るマスクの第3の実施形態を示している。

このマスク（レチクル）Rには、FIG. 14A および FIG. 14B の直線状パターン群TP1とTP3とを互いに90°で交差するように配置したマーク領域MA<sub>p</sub>と、直線状パターン群TP2とTP4とを互いに90°で交差するように配置したマーク領域MA<sub>s</sub>とが、回路パターン領域PAを挟んで、X方向にPS<sub>x</sub>、Y方向にPS<sub>y</sub>だけ離れた状態に形成されている。

この第3の実施形態では、計測工程において、FIG. 15B に示すように、1回目の露光（ファーストプリント）後、ウエハステージSTをX方向にPS<sub>x</sub>、もしくはY方向にPS<sub>y</sub>だけステッピングさせて、2回目の露光を行う。これにより、マーク領域MA<sub>s</sub>の潜像の上に、マーク領域MA<sub>p</sub>の投影像が重ね合わされ、FIG. 15B に示したように、2重露光されたくさび状パターンIR1～IR6が形成される。そして、このくさび状パターンIR1～IR6の寸法を計測することで、ウエハステージSTの二次元方向のステッピング精度を計測することが可能となる。以下、FIG. 16A～FIG. 16C を参照してステッピング精度を計測する原理について説明する。

FIG. 16A～FIG. 16C は、上述したマーク領域MA<sub>p</sub>とマーク領域MA<sub>s</sub>とを重ね合わせ露光して形成されるくさび状パターンのうち、X方向に伸びるくさび状パターンIR1、IR2、IR3を示している。

FIG. 16A は、2つの直線状パターン群TP 1、TP 2がX、Y方向のそれぞれについて正確に重ね合わされた状態（ずれ量 $\Delta x = \Delta y = 0$ ）を示し、この場合、左右のくさび状パターンIR 2、IR 3のX方向の寸法 $L_e$ 、 $L_f$ は等しくなる。ところが、FIG. 16Bに示すように、2重露光時に2つの直線状パターン群TP 1、TP 2が相対的にY方向のみに誤差 $\Delta Y$ をもって重ね合わされた場合、くさび状パターンIR 2の寸法 $L_e$ は、FIG. 16A の位置ずれ量が零だった場合に比べて、 $\Delta L_x / 2$ だけ短くなり、くさび状パターンIR 3の寸法 $L_f$ は、 $\Delta L_x / 2$ だけ長くなる。なお、誤差 $\Delta Y$ の方向によっては長短関係が逆になる場合もある。また、2重露光時に、2つの直線状パターン群TP 1、TP 2が相対的にX方向にのみ位置ずれを起こした場合は、FIG. 16C に示すように、左右のくさび状パターンIR 2、IR 3は同量だけ寸法変化するため、寸法 $L_e$ 、寸法 $L_f$ の差は零である。このため、ほぼX方向に伸びた2つの直線状パターン群TP 1、TP 2の2重露光により形成されるくさび状パターンIR 2、IR 3から、重ね合わせ時のY方向の誤差 $\Delta Y$ 成分を次の（6）式によって算出できる。

$$\begin{aligned}\Delta Y &= (L_f - L_e) \cdot \tan(\theta / 2) \\ &= \Delta L_x \cdot \tan(\theta / 2)\end{aligned}\quad (6)$$

なお、露光条件によって線幅が変化しても、寸法 $L_e$ 、 $L_f$ の変化量は互いに等しくなるため、寸法差 $\Delta L_x$ は変化せず、この寸法差 $\Delta L_x$ は2重露光時の重ね合わせのずれ量のみに比例する。同様にして、直線状パターン群TP 3、TP 4の2重露光により形成されるくさび状パターンIR 5、IR 6から、重ね合わせ時のX方向の誤差 $\Delta X$ 成分を算出できる。そしてこれらから、ウエハステージSTの二次元方向のステップング精度を計測することが可能となる。また、この際、くさび状パターンIR 1～IR 6は、1ステップごとに3組ずつ形成されるので、この3組の像から計測したステップング精度を互いに比較することで、ウエハステージSTのステップング時のヨーイング（X-Y平面内での微小回転）を計測することも可能である。

次に、本発明に係るマスクの第4の実施形態について説明する。

第4の実施形態のマスク（レチクル）は、マーク領域MA内に形成される検査用パターンKPとして、第1の実施形態で示したX方向に伸びる直線状パターン

群TP 1、TP 2に加えて、FIG. 17A に示すように、矩形の抽出用パターンEP 1を有している。抽出用パターンEP 1は、幅 $L_i$ 、長さ $H_i$ の矩形領域でマスク上に遮光部として形成され、その中心点Q 5のマスク上でのX座標値は、直線状パターン群TP 1、TP 2と一致し、Y座標値は直線状パターン群TP 2から $D_y$ だけシフトしている。なお、直線状パターン群TP 1、TP 2が光透過部として形成される場合は、抽出用パターンEP 1も同様に光透過部として形成される。

この第4の実施形態のマスクでは、これまでの実施形態と異なり、計測工程において、3回の多重露光が行われる。1回目および2回目の露光では、上述した実施例で説明したように、直線状パターン群TP 1の潜像の上に、直線状パターン群TP 2の投影像を重ね合わせて露光する。ただし、このときの露光量は、通常露光量の約 $1/3$ とするのが好ましい。そして3回目の露光では、直線状パターン群TP 1とTP 2とを重ね合わせた潜像に対して、抽出用パターンEP 1の投影像をさらに重ね合わせて露光する。これにより、FIG. 17B に示すように、菱形のくさび状パターンIR 1のみが抽出され、潜像として形成される。このように、本実施形態のマスクでは、抽出用パターンEP 1を有しているので、この抽出用パターンEP 1を重ね合わせて露光することで、所望のパターン像のみを抽出することが可能となり、計測時に観察するパターンを特定しやすくなる。特に、アライメント系などを用いて露光装置本体でパターンの寸法を自動計測する場合には、パターンの特定ミスによる誤動作の可能性を低くできる。

また、この3回目の露光時には、前の2回の露光と同様に露光量を通常露光量の約 $1/3$ としてもよいが、本実施形態のように、検査用パターンKPが遮光部として形成されている場合には、露光量を通常露光量の $1/3$ 以上とすることで、抽出用パターンEP 1が投影される領域とそれ以外の領域とをより明確に区別することが可能となる。なお、FIG. 17A に示した3箇所の検査用パターンKPを重ね合わせる順序は、上述したものに限らず、例えば抽出用パターンEP 1の潜像に対して直線状パターン群TP 2、TP 1を重ね合わせて露光してもよい。また、抽出用パターンEP 1は、例えばFIG. 2の可動ブレード17など、レチクルR以外の露光装置の他の構成要素によって代用することも可能である。

FIG. 18A および FIG. 18B は、本発明に係るマスクの第5の実施形態を示している。

このマスク（レチクル）Rには、検査用パターンKPとして、FIG. 14A および FIG. 14B で示した直線状パターン群TP1、TP2、TP3、TP4に加えて、FIG. 18B に示すように、抽出用パターンEP1、EP2が形成されている。また、これらの検査用パターンKPは、FIG. 18A に示すように、回路パターン領域PA内で、中央部、4隅、および4辺の中央部の計9ヶ所に等間隔で配置され、回路パターンCPに干渉しない位置に形成される。

この第5の実施形態のレチクルRでは、前述した計測工程において、直線状パターン群TP1、TP3と直線状パターン群TP2、TP4とを重ね合わせて露光した潜像の上に、抽出用パターンEP1、EP2の投影像を重ね合わせて露光する。これにより、FIG. 14B に示したくさび状パターンのうち、くさび状パターンIR1とIR4だけが回路パターン領域PA内の9ヶ所に潜像としてそれぞれ抽出される。すなわち、例えばステップ・アンド・リピート方式の露光装置でこのレチクルRを用いれば、FIG. 13A および FIG. 13B に示したレチクルステージRSを大きく移動させることなく、露光視野内の9ヶ所の解像力（線幅）を計測できる。もちろん、9ヶ所に限らず検査用パターンKPをさらに細かく配置すれば、任意の位置での解像力がチェックが可能となる。また、X方向に伸びるくさび状パターンIR1とY方向に伸びるくさび状パターンIR4との寸法を比較することで、投影光学系のディストーションを計測することも可能である。さらに、このレチクルRでは、露光工程と計測工程とでレチクルステージを大きく移動させる必要がないので、FIG. 13A および FIG. 13B に示した構成に比べてステージ誤差に起因する誤差が生じにくく、光学特性の調整精度の向上を図ることが可能である。なお、ここではくさび状パターンIR1を抽出したが、他のくさび状パターン（IR2、IR3など）を抽出するようにしてもよい。

ところで、FIG. 18A および FIG. 18B に示した検査用パターンKPは、回路パターンCPの一部であってもよい。すなわち、回路パターンの一部を検査用パターンとして利用することで、検査用パターン用のスペースをレチクルR上に確保する必要がなくなり、FIG. 1A～FIG. 1C に示したレチクルRに比べて回路パターン領



域PAを広くできるなど、レチクルR上のスペースを無駄なく利用できるようになる。さらに、検査用パターンKPとして、アライメントマークRM1、RM2、RM3を利用してもよい。

次に、本発明に係るマスクの第6の実施形態について説明する。

FIG. 19A および FIG. 19B は、第6の実施形態のマスクにおける抽出用パターンを示しており、この抽出用パターンEP3、EP4は、第5の実施形態における矩形の抽出用パターンと異なり、縁部が鋸歯状に形成されている。すなわち、抽出用パターンEP3はX方向の両縁部に鋸歯状に段差が形成され、抽出用パターンEP4はY方向の両縁部に鋸歯状に段差が形成されている。前述した第5の実施形態における抽出用パターンEP1、EP2は矩形に形成されているため、FIG. 14B に示す菱形状のくさび状パターンIR1、IR4だけを抽出しようとしても、抽出用パターンEP1、EP2の縁辺部がくさび状パターンIR2、IR3、IR5、IR6のくさび先端部に重なりやすい。これに対し、本実施形態における抽出用パターンEP3、EP4は、縁部が鋸歯状に形成されているので、段差溝にくさび状パターンIR2、IR3、IR5、IR6のくさび先端部が配されることで、これらのくさび状パターンと重なりにくくなる。したがって、多重露光時に位置ずれ誤差が生じて、より確実にくさび状パターンIR1、IR4を抽出できるようになる。特に、第5の実施形態で示したように、検査用パターンKPが回路パターン領域PA内に形成されている場合、抽出する領域を本実施形態のように特定して限定することで、パターン寸法の計測の際に、回路パターンCPの像がノイズとして影響するのを防止することが可能となる。さらに、こうした形状の抽出用パターンEP3、EP4のみを回路パターン領域PA外に設けたり、前述した可動ブレード17等の他の構成要素として設けておくことで、上述した回路パターンCPの一部を検査用パターンとして利用するといったことを容易に実現できるようになる。

なお、上述した実施形態および実施例において示した各構成部材の諸形状や組み合わせ、および手順等は一例であって、本発明の主旨から逸脱しない範囲において設計要求等に基づき種々変更可能である。本発明は、例えば以下のような変更をも含むものとする。

(1) マスク（レチクル）に形成されるマーク領域の数量や配置位置、および検査用パターンの形状は任意に定めてよい。例えば第1の本実施形態では、FIG. 1A～FIG. 1Cに示すように3つのマーク領域MAが形成されており、最適露光条件における線幅を3つのマーク領域MA間で比較することで、投影光学系PLの非対称収差を容易に求めることができるという利点がある。しかしながら、例えば計測工程においてパターン像の線幅を計測するだけでよい場合、マーク領域MAは少なくともレチクルR上に1つ形成されていればよい。

(2) 上述した実施形態では、例えばX軸に対して右上りの直線状パターン群TP1と左上りの直線状パターン群TP2など、互いに重ね合わされるパターン群のペアが形成されているが、必ずしもこうしたペアを有する必要はない。例えば、2回目の露光時にレチクルステージを $\theta$ だけ回転させて1回目の露光時の潜像に重ね合わせて2重露光を行うことで、例えば直線状パターン群TP1などの1つのパターン群だけでも、上述したくさび状パターンと同様のパターンを形成することが可能である。

(3) 検査用パターンを回路パターン領域とは異なる領域に形成するか、あるいは、回路パターンの一部を検査用パターンとして利用するかは任意である。ただし、回路パターンの一部を検査用パターンとして利用することで、マスク（レチクル）上のスペースを無駄なく利用できるとともに、例えば実回路パターンの最小線幅と同じ微細な線幅のパターン（検査用パターン）を改めてマスク上に形成する必要がなくなるなど、マスクの製作における効率性が損なわれにくい。

(4) 上述した実施例では、露光装置のアライメント系を用いてくさび状パターンの寸法を計測しているので、その計測に要する時間が短時間で済むという利点があるが、パターン寸法を計測する手段として例えばSEM等の他の測定装置を用意してもよい。この場合、実露光動作中にもウエハを処理装置から抜き出して光学系の特性を検査することが可能となる。

(5) 検査用パターンによって行われる検査項目は、上述したものに限らず、光学系の像面傾斜や像面湾曲、アライメント系を用いた位置合わせ（重ね合わせ精度）等、様々なものに適用可能である。

(6) 上述した実施例では、互いに重ねあわされる第1の直線状パターンと第2

の直線状パターンとがともに所定の軸（例えばX軸）に対して傾いて形成されているが、これらは互いに交差すればよいのであって、いずれか一方の直線状パターンのみを所定の軸に対して傾けて形成してもよい。

（7）上述した実施例で示した露光装置は、本願特許請求の範囲に挙げられた露光方法に係る各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電気的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムからの露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程がある。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが好ましい。

また、本実施例の露光装置として、マスクと基板とを同期移動してマスクのパターンを露光するだけの走査型の露光装置、投影光学系を用いることなくマスクと基板とを密接させてマスクのパターンを露光するプロキシミティ露光装置にも適用できる。

露光装置の用途としては半導体製造用の露光装置に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに液晶表示素子パターンを露光する液晶用の露光装置や、薄膜磁気ヘッドを製造するための露光装置にも広く適用できる。

また、本実施例の露光装置の光源は、g線（436nm）、i線（365nm）、KrFエキシマレーザ（248nm）、ArFエキシマレーザ（193nm）、F<sub>2</sub>レーザ（157nm）のみならず、X線や電子線などの荷電粒子線を用いることができる。例えば、電子線を用いる場合には電子銃として、熱電子放射型のランタンヘキサボライト（LaB<sub>6</sub>）、タンタル（Ta）を用いることができる。さらに、電子線を用いる場合は、マスクを用いる構成としてもよいし、マスクを用いずに直接基板上にパターンを形成する構成としてもよい。

さらに、投影光学系の倍率は縮小系のみならず等倍および拡大系のいずれでも

よい。

また、投影光学系としては、エキシマレーザなどの遠紫外線を用いる場合は硝材として石英や蛍石などの遠紫外線を透過する材料を用い、 $F_2$ レーザやX線を用いる場合は反射屈折系または屈折系の光学系にし（レチクルも反射型タイプのものを用いる）、また、電子線を用いる場合には光学系として電子レンズおよび偏向器からなる電子光学系を用いればいい。なお、電子線が通過する光路は真空状態にする。

## 特許請求の範囲

1. 光学系を介して基板に転写される回路パターンを有するマスクであって、前記基板に転写されるパターンの線幅を計測するための検査用パターンを有するマスク。
2. 請求項1のマスクであって、前記検査用パターンは、第1の計測用パターンと、該第1の計測用パターンの像と重ね合わされる第2の計測用パターンと、前記第1の計測用パターンと前記第2の計測用パターンとを重ね合わせた像から所定の像を抽出するための抽出用パターンとを有する。
3. 請求項2のマスクであって、前記第1の計測用パターンおよび前記第2の計測用パターンは、互いに平行に並ぶ複数の直線状パターンからなり、前記抽出用パターンは、前記第1の計測用パターンと前記第2の計測用パターンとを所定の角度で交差させて重ね合わせた像から少なくとも1つの略菱形形状の像を抽出する形状に形成されている。
4. 請求項1のマスクであって、前記計測用パターンは、前記回路パターンが形成されている回路パターン領域とは別の領域に形成されている。
5. 請求項1のマスクであって、前記計測用パターンは、前記回路パターンの一部である。
6. 請求項1のマスクであって、前記計測用パターンの線幅は、前記回路パターンの線幅に対応している。
7. 露光方法であって、請求項1のマスクの回路パターンを光学系を介して感光基板に転写する露光工程と、

該露光工程に先立って、該露光工程で用いる前記マスクに形成された検査用パ

ターンを利用し、前記基板に転写されるパターンの線幅を計測する計測工程とを有する。

8. 請求項7の露光方法であって、前記計測工程で計測された前記パターンの線幅に基づいて、前記基板への露光条件を調節する。

9. 線幅測定方法であって、

所定の線幅で形成された第1の直線状パターンを所定面上に投影する第1工程と、

前記第1の直線状パターンとは異なる線幅で形成された第2の直線状パターンを、前記所定面上に投影された前記第1の直線状パターンの像に所定の角度で交差させて投影する第2工程と、

前記第1の直線状パターンと、前記第2の直線状パターンとの重なり部分の寸法を計測する第3工程とを有する。

10. 請求項9の線幅測定方法であって、

前記第1～第3工程は、光学系を介して感光基板に投影される回路パターンの最小線幅の測定に用いられ、

前記第1の直線状パターン又は前記第2の直線状パターンの一方の線幅は、前記回路パターンの最小線幅と同程度であり、

前記第1の直線状パターン又は前記第2の直線状パターンの他方の線幅は、前記一方の線幅より太い。

11. 光学系を介して、基板上に転写される回路パターンの線幅を測定する測定パターンが形成されたマスクであって、

前記測定パターンは、所定の線幅で形成された第1の直線状パターンと、該第1の直線状パターンの像に重ね合わされ、前記第1の直線状パターンとは異なる線幅で形成された第2の直線状パターンとを有する。

1 2. 請求項 1 1 のマスクであって、前記第 1 の直線状パターンと前記第 2 の直線状パターンとが形成された領域とは異なる領域に、前記回路パターンが形成されている。

1 3. 露光方法であって、請求項 1 2 のマスクの回路パターンを光学系を介して基板に転写する露光工程と、

該露光工程に先立って、該露光工程で用いる前記マスクに形成された前記第 1 の直線状パターンと前記第 2 の直線状パターンとを利用し、前記基板に転写されるパターンの線幅を計測する計測工程とを有する。

1 4. 半導体デバイスの製造方法であって、請求項 1 2 のマスクの回路パターンを光学系を介して基板に転写する露光方法と、

該露光工程に先立って、該露光工程で用いる前記マスクに形成された前記第 1 直線状パターンと前記第 2 直線状パターンとを利用し、前記基板に転写されるパターンの線幅を計測する計測工程とを有する。

## 要 約 書

本発明のマスクは、光学系を介して基板に転写される回路パターンを有し、さらに、基板に転写されるパターンの線幅を計測するための検査用パターンが形成されている。このマスクによれば、検査から実デバイスの露光に移行するまでの時間を短縮できる。